“Densities and mass assembly histories of the Milky Way satellites are not a challenge to ΛCDM ”

Andrey Kravtsov, Zewei Wu　arXiv:2306.08674

GAゼミ 2023/06/23 坂田　晴

【アブスト】
本研究では高解像度のΛCDMシミュレーションに基づいたGRUMPY銀河形成モデルを使用し、MWサイズハローの衛星矮小銀河の物質密度とその質量の形成史を調査した。得られた結果は、観測されたMWの衛星矮星銀河の密度推定やその質量形成がΛCDMモデルと一致していることを示している。また、多くの衛星銀河の質量はz ≅10のMWのprogenitorの質量と同等であるが、これらは初期の時代にMWのprogenitorから遠く離れて存在していたため、mergerのチャンスはなかった。

【ゴール】　ΛCDMモデルの検証　　【オリジナリティ】 矮小銀河の観測とGRUMPYモデルの比較

【ロジック】

・シミュレーション:
Caterpillar（Griffen et al. 2016）のN体シミュレーション で衛星銀河をモデル化
GRUMPY銀河形成モデル
半質量半径r1/2を使用し、ρtot ($< r1/2$)を推定
暗黒物質の密度プロファイルとしてNFW、Read et al. (2016)、Lazar et al. (2020)
・観測:矮小銀河のVバンド光度、半光度半径R1/2、速度分散を使用(表B1)
Mtotを推定

$$M_{\rm tot,NFW}\left(<r_{1/2}\right)=M_{\rm dm,NFW}\left(<r_{1/2}\right)+\frac{1}{2}M_{\star}\ (2)$$　Wolf et al. (2010)

【結果】
・図1:Mtot($< r1/2$)とL_Vの関係
→モデルが観測された衛星のMtot ($< r1/2$)とL_Vを概ね再現
・図2:ρtot ($< r1/2$)の測定値
→モデルがMtot ($< r1/2$)とρtot ($< r1/2$)を概ね再現
・図3(上):MWサイズのホストと衛星銀河のハロー質量の進化
→後期で衛星銀河のハロー質量は大幅に減少
・図3(下):距離の進化
→早期の段階でprogenitor同士のmergerは起きなかった
・図4:最大のハロー質量比が発生した時点での距離

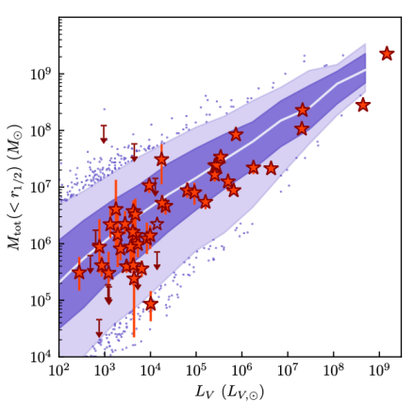


図1

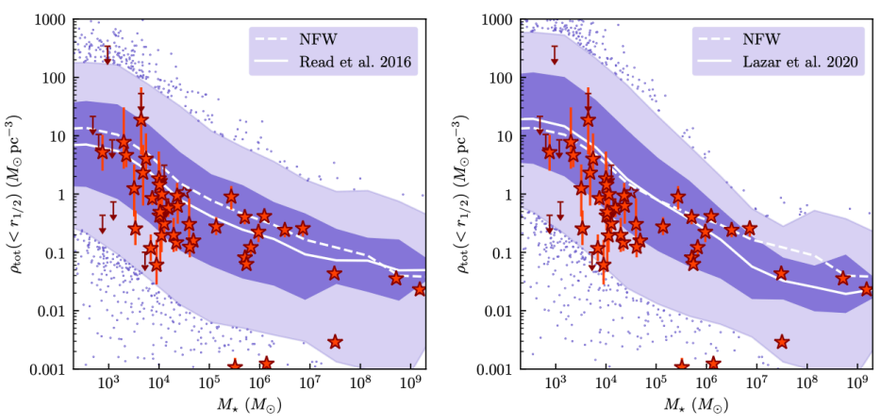


図2

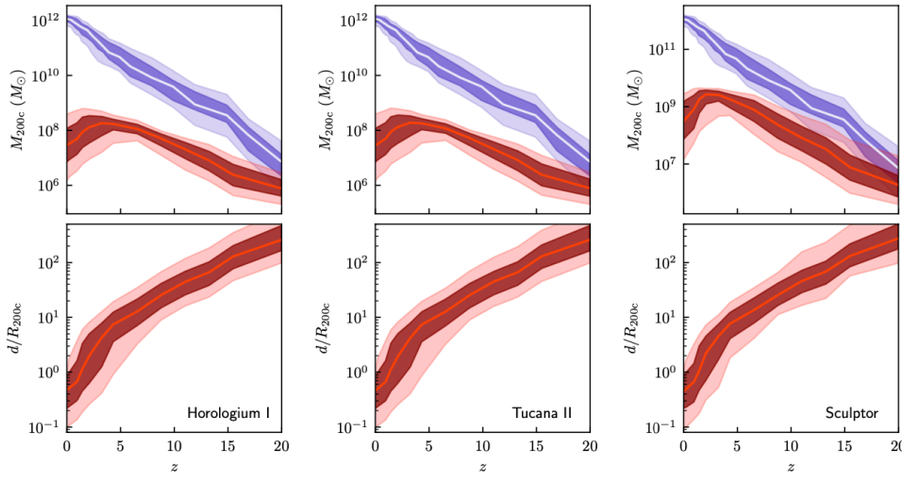


図3

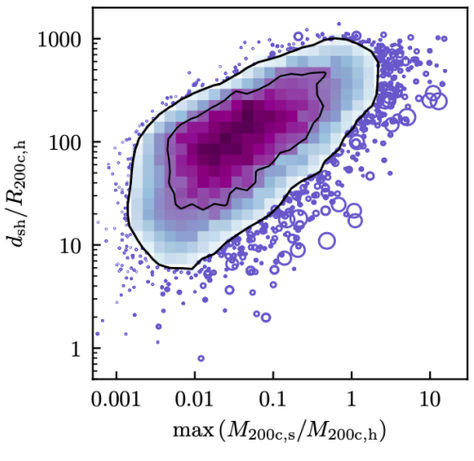


図4

【コメント】
・図2に関して、$M_\star > 10^5 M_\odot$のサンプルが少ないように感じた。

表B1

Galaxy name	M_V	$R_{1/2}$ (pc)	$\sigma_{\rm los}$ km/s	References
Antlia II	$-9.86^{+0.08}_{-0.08}$	$2541.0^{+175.0}_{-175.0}$	$5.98^{+0.37}_{-0.36}$	Ji et al. (2021)
Aquarius II	$-4.36^{+0.14}_{-0.14}$	$159.0^{+24.0}_{-24.0}$	$4.7^{+1.8}_{-1.2}$	Torrealba et al. (2016b); Bruce et al. (2023)
Boötes I	$-6.02^{+0.25}_{-0.25}$	$191.0^{+5.0}_{-5.0}$	$5.1^{+0.7}_{-0.8}$	Jenkins et al. (2021)
Boötes II	$-2.94^{+0.74}_{-0.74}$	$38.7^{+5.1}_{-5.1}$	$2.9^{+1.6}_{-1.2}$	Muñoz et al. (2018); Bruce et al. (2023)
Boötes III	$-5.8^{+0.5}_{-0.5}$	$289.0^{+100.0}_{-100.0}$	$10.7^{+3.5}_{-3.5}$	Correnti et al. (2009); Carlin et al. (2009); Carlin & Sand (2018)
Canes Venatici I	$-8.8^{+0.06}_{-0.06}$	$452.0^{+13.0}_{-13.0}$	$7.6^{+0.4}_{-0.4}$	Muñoz et al. (2018); Simon & Geha (2007)
Canes Venatici II	$-5.17^{+0.32}_{-0.32}$	$70.7^{+11.2}_{-11.2}$	$4.6^{+1.0}_{-1.0}$	Muñoz et al. (2018); Simon & Geha (2007)
Carina	$-9.43^{+0.05}_{-0.05}$	$308.0^{+3.0}_{-3.0}$	$6.6^{+1.2}_{-1.2}$	Muñoz et al. (2018); Walker et al. (2009)
Carina II	$-4.5^{+0.1}_{-0.1}$	$91.0^{+8.0}_{-8.0}$	$3.4^{+1.2}_{-0.8}$	Torrealba et al. (2018); Li et al. (2018)
Carina III	$-2.4^{+0.2}_{-0.2}$	$30.0^{+9.0}_{-9.0}$	$5.6^{+4.3}_{-2.1}$	Torrealba et al. (2018); Li et al. (2018)
Centaurus I	$-5.55^{+0.11}_{-0.11}$	$79.0^{+14.0}_{-10.0}$	5.5	Mau et al. (2020); Martínez-Vázquez et al. (2021)
Columba I	$-4.5^{+0.17}_{-0.17}$	$103.0^{+25.0}_{-25.0}$	< 12.2	Muñoz et al. (2018); Fritz et al. (2019)
Coma Berenices	$-4.38^{+0.25}_{-0.25}$	$72.1^{+3.8}_{-3.8}$	$4.6^{+0.8}_{-0.8}$	Muñoz et al. (2018); Simon & Geha (2007)
Crater II	$-8.2^{+0.1}_{-0.1}$	$1066.0^{+84.0}_{-84.0}$	$2.34^{+0.42}_{-0.30}$	Torrealba et al. (2016a), Ji et al. (2021)
Draco	$-8.71^{+0.05}_{-0.05}$	$214.0^{+2.0}_{-2.0}$	$9.1^{+1.2}_{-1.2}$	Muñoz et al. (2018); Walker et al. (2009)
Draco II	$-0.8^{+0.4}_{-1.0}$	$19.0^{+4.0}_{-2.6}$	< 5.9	Longeard et al. (2018)
Eridanus II	$-7.21^{+0.09}_{-0.09}$	$196.0^{+18.8}_{-18.8}$	$6.9^{+1.2}_{-0.9}$	Muñoz et al. (2018); Li et al. (2017)
Fornax	$-13.46^{+0.14}_{-0.14}$	$838.0^{+3.0}_{-3.0}$	$11.7^{+0.9}_{-0.9}$	Muñoz et al. (2018); Walker et al. (2009)
Grus I	$-4.1^{+0.3}_{-0.3}$	$151.3^{+21.0}_{-31.0}$	$2.5^{+1.3}_{-0.8}$	Cantu et al. (2021); Chiti et al. (2022)
Grus II	$-3.5^{+0.3}_{-0.3}$	$94.0^{+9.0}_{-9.0}$	< 2.0	Simon et al. (2020)
Hercules	$-5.83^{+0.17}_{-0.17}$	$216.0^{+17.0}_{-17.0}$	$5.1^{+0.9}_{-0.9}$	Muñoz et al. (2018); Simon & Geha (2007)
Horologium I	$-3.55^{+0.56}_{-0.56}$	$36.5^{+7.1}_{-7.1}$	$4.9^{+2.8}_{-0.9}$	Muñoz et al. (2018); Koposov et al. (2015)
Horologium II	$-1.56^{+1.02}_{-1.02}$	$44.0^{+13.8}_{-13.8}$	< 54.6	Muñoz et al. (2018); Fritz et al. (2019)
Hydra II	$-4.6^{0.37}_{-0.37}$	$59.2^{+10.9}_{-10.9}$	< 3.6	Muñoz et al. (2018); Kirby et al. (2015)
Hydrus I	$-4.71^{+0.08}_{-0.08}$	$53.3^{+3.6}_{-3.6}$	$2.7^{+0.5}_{-0.4}$	Koposov et al. (2018)
Leo I	$-11.78^{+0.28}_{-0.28}$	270.0^{+2}_{-2}	$9.2^{+0.4}_{-0.4}$	Muñoz et al. (2018); Walker et al. (2009)
Leo II	$-9.74^{+0.04}_{-0.04}$	$171.0^{+2.0}_{-2.0}$	$7.4^{+0.4}_{-0.4}$	Muñoz et al. (2018); Spencer et al. (2017)
Leo IV	$-4.99^{+0.26}_{-0.26}$	$114.0^{+13.0}_{-13.0}$	$3.4^{+1.3}_{-0.9}$	Jenkins et al. (2021)
Leo V	$-4.29^{+0.36}_{-0.36}$	$49.0^{+16.0}_{-16.0}$	$2.3^{+3.2}_{-1.6}$	Jenkins et al. (2021)
Leo T	$-7.6^{+0.14}_{0.14}$	153.0^{+16}_{-16}	$7.5^{+1.6}_{-1.6}$	Muñoz et al. (2018); Simon & Geha (2007)
LMC	$-18.1^{+0.1}_{-0.1}$	2697.0^{+115}_{-115}	$30.0^{+2.5}_{-2.5}$	Muñoz et al. (2018), see text
Pegasus III	$-3.4^{+0.4}_{-0.4}$	$53.0^{+14.0}_{-14.0}$	$5.4^{+3.0}_{-2.5}$	Kim et al. (2016)
Pegasus IV	$-4.25^{+0.2}_{-0.2}$	$41.0^{+8.0}_{-6.0}$	$3.3^{+1.7}_{-1.1}$	Cerny et al. (2023)
Phoenix II	$-3.3^{+0.63}_{-0.63}$	$36.0^{+12.8}_{-12.8}$	$11.0^{+9.4}_{-5.3}$	Muñoz et al. (2018); Fritz et al. (2019)
Pisces II	$-4.22^{+0.38}_{-0.38}$	$59.3^{+8.5}_{-8.5}$	$5.4^{+3.6}_{-2.4}$	Muñoz et al. (2018); Kirby et al. (2015)
Reticulum II	$-3.88^{+0.38}_{-0.38}$	$48.2^{+1.7}_{-1.7}$	$2.97^{+0.43}_{-0.35}$	Muñoz et al. (2018); Ji et al. (2023)
Reticulum III	$-3.3^{+0.29}_{-0.29}$	$64.0^{+24.0}_{-24.0}$	< 31.2	Muñoz et al. (2018); Fritz et al. (2019)
Sagittarius	$-13.5^{+0.15}_{-0.15}$	$2662.0^{+193.0}_{-193.0}$	$9.6^{+0.4}_{-0.4}$	Simon (2019)
Sagittarius II	$-5.7^{+0.1}_{-0.1}$	$35.5^{+1.4}_{-1.2}$	$1.7^{+0.5}_{-0.5}$	Longeard et al. (2020, 2021)
Sculptor	$-10.82^{+0.14}_{-0.14}$	$280.0^{+1.0}_{-1.0}$	$9.2^{+1.1}_{-1.1}$	Muñoz et al. (2018); Walker et al. (2009)
Segue 1	$-1.30^{+0.73}_{-0.73}$	$24.2^{+2.8}_{-2.8}$	$3.7^{+1.4}_{-1.1}$	Muñoz et al. (2018); Simon et al. (2011)
Segue 2	$-1.86^{+0.88}_{-0.88}$	$38.3^{+2.8}_{-2.8}$	< 2.2	Muñoz et al. (2018); Kirby et al. (2013)
Sextans	$-8.72^{+0.06}_{-0.06}$	$413.0^{+3.0}_{-3.0}$	$7.9^{+1.3}_{-1.3}$	Muñoz et al. (2018); Walker et al. (2009)
SMC	$-16.8^{+0.1}_{-0.1}$	1106.0^{+77}_{-77}	16.5^{+1}_{-1}	Muñoz et al. (2018), see text
Triangulum II	$-1.60^{+0.76}_{-0.76}$	$17.4^{+4.3}_{-4.3}$	< 3.4	Muñoz et al. (2018); Buttry et al. (2022)
Tucana II	$-3.8^{+0.1}_{-0.1}$	$165.0^{+27.8}_{-18.5}$	$3.8^{+1.1}_{-0.7}$	Koposov et al. (2015); Chiti et al. (2023)
Tucana III	$-1.3^{+0.2}_{-0.2}$	$34.0^{+8.0}_{-8.0}$	< 1.2	Mutlu-Pakdil et al. (2018); Simon (2019)
Tucana IV	$-3.0^{+0.3}_{-0.4}$	$127.0^{+22.0}_{-16.0}$	$4.3^{+1.7}_{-1.0}$	Simon et al. (2020)
Tucana V	$-1.1^{+0.5}_{-0.6}$	$34.0^{+11.0}_{-8.0}$	< 7.4	Simon et al. (2020)
Ursa Major I	$-5.12^{+0.38}_{-0.38}$	$234.0^{+10.0}_{-10.0}$	$7.0^{+1.0}_{-1.0}$	Muñoz et al. (2018); Simon (2019)
Ursa Major II	$-4.25^{+0.26}_{-0.26}$	$128.0^{+5.0}_{-5.0}$	$5.6^{+1.4}_{-1.4}$	Muñoz et al. (2018); Simon (2019)
Ursa Minor	$-9.03^{+0.05}_{-0.05}$	$405.0^{+21.0}_{-21.0}$	$9.5^{+1.2}_{-1.2}$	Muñoz et al. (2018); Walker et al. (2009)
Willman 1	$-2.53^{+0.74}_{-0.74}$	$27.7^{+2.4}_{-2.4}$	$4.0^{+0.8}_{-0.8}$	Muñoz et al. (2018); Willman et al. (2011)